

Approved For Release STAT  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120

declassified

Approved For Release  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120



**Вторая Международная Конференция  
Организации Объединенных Наций  
по применению атомной энергии  
в мирных целях**

A/CONF.15/P/2222  
Abstract (USSR)  
16 April 1958

ORIGINAL: RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

**ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР СЕРЕБРА ПРОТОНАМИ БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИИ**

В.П.Шамов

В настоящее время имеется значительное количество работ, посвященных делению наиболее тяжелых ядер ( $U$ ,  $Tl$ ,  $V$ ) конца периодической системы элементов. Имеются также некоторые сведения относительно деления более легких ядер, таких как  $W$ ,  $Ta$ . Значительно хуже обстоит дело с изучением деления ядер, расположенных в середине периодической системы. По существу, к настоящему времени, кроме установления самого факта о наличии деления ядер, расположенных в середине периодической системы (1), ничего не известно.

В настоящей работе мы попытались, используя преимущества фотометрии, получить некоторые предварительные сведения о делении ядер серебра на протонах большой энергии. Мелкозернистые ядерные эмульсии типа "П-9" – чувствительная, – имеющие чувствительность по протонам  $\approx 45$  Мэв, облучались интенсивным пучком протонов различной энергии на синхроплазматоре Объединенного Института ядерных исследований. В дальнейшем, под микроскопом просматривалась вся площадь, через которую прошел протонный пучок (все пластинки облучались протонами, направленными перпендикулярно к поверхности эмульсии). Кроме того, во всех опытах использовался один и тот же коллиматор диаметром  $d = 2$  см.

Для анализа отбирались только те события, в которых наряду с прочими продуктами ядерных расщеплений ( $\alpha, p$ ) имелись два сильно ионизирующих трека осколочного типа. Для того чтобы отделить делительные события от процесса фрагментации на тяжелых элементах фотоэмulsionий, мы несколько условно предполагали, что к делительному событию относятся только такие, у которых отношение пробегов

-2-

двух осколков меньше двух ( $\ell_1/\ell_r \ll 2$ ). Для процесса фрагментации отношение пробега многозарядной частицы и ядер отдачи значительно больше двух. Поскольку в состав фотоэмulsionии, помимо легких ядер ( $C, N, O, H$ ), входят два сорта тяжелых ядер ( $Ag$  и  $Bz$ ), разделить эффект на которых весьма трудно, то в дальнейшем мы полагали, что параметры деления \*) ядер  $Ag$  и  $Bz$  на протонах больших энергий одинаковы. Данное предположение может дать несколько заниженное значение для сечения деления ядер серебра, однако, для предварительных данных это не столь существенно.

Результаты анализа делительных событий на ядрах  $Ag$  и  $Bz$  представлены в таблице 1.

Таблица 1

$\ell(\text{см})$	$E_p$ Мэв	$N$	$N_p$	$N_f$	$N_{Ag,Bz}$	$\delta_F(Ag, Bz)$	$\Delta\delta_F$	$\bar{n}_{\alpha p}$	$\bar{x}_{\mu k}$
0	660	104	$2,14 \cdot 10^8$	15	$2 \cdot 10^{20}$	$3,5 \cdot 10^{-28}$	$1 \cdot 10^{-28}$	6,5	15
10	500	111	$2,22 \cdot 10^8$	12	$2 \cdot 10^{20}$	$2,7 \cdot 10^{-28}$	$1 \cdot 10^{-28}$	5,7	16
20	300	113	$2 \cdot 10^8$	13	$2 \cdot 10^{20}$	$3,3 \cdot 10^{-28}$	$1 \cdot 10^{-28}$	6,3	15

Обозначения к таблице 1:

$\ell$  - толщина медного фильтра, через который пропускается протонный пучок с начальной энергией  $E_{p0} = 660$  Мэв.

$E_p$  - энергия протонов после фильтра.

$N$  - количество импульсов, сосчитанных ионизационной камерой, прокалиброванной по протонам с энергией  $E_p = 660$  Мэв (один импульс соответствует потоку в  $2,06 \cdot 10^6$  протонов с  $E_p = 660$  Мэв).

$N_p$  - количество протонов, прошедших после торможения, коллиматор с диаметром  $d = 2$  см.

$N_f$  - количество делений, обнаруженных на площади  $S = 3,14$  см, равной сечению коллиматора.

$N_{Ag,Bz}$  - количество ядер серебра и брома в эмульсии на площади  $S = 1$  см<sup>2</sup> и толщине  $T = 100$  мк.

\*) под параметрами деления понимаются следующие характеристики: сечение деления, среднее число заряженных частиц, связанных с делением, распределение по числу заряженных частиц, отношение пробегов осколков ( $\ell_1/\ell_r$ ) и т.д.

-5-

$\sigma_f$  - сечение деления ядер серебра и брома, полученное в предположении, что  $\sigma_f(Ag) = \sigma_f(Br)$ .

$\bar{n}_p$  - среднее число заряженных частиц ( $\alpha, p$ ), приходящихся на один акт деления.

$\bar{z}$  - средняя длина следов осколков деления.

Как видно из таблицы 1, сечение деления ядер серебра остается практически постоянным ( $\sigma_f = (3,2 \pm 1 \cdot 10^{-28} \text{ см}^2)$ ) в широком интервале энергий падающего протона ( $E_p = 300\text{-}660 \text{ Мэв}$ ). Кроме того, деление, как правило, сопровождается эмиссией большого числа заряженных частиц, количество которых также практически постоянно в указанном интервале энергий падающего протона. Средняя суммарная длина следов осколков деления значительно меньше, чем в случае деления более тяжелых ядер, таких как ядра  $U, Th, Bi, W$ .

Для выяснения характера деления с точки зрения асимметрии процесса нами было изучено отношение пробегов осколков деления. Результаты данного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Отношение пробегов, $e_1/e_r$	Процент случаев с даным отношением пробегов
1 - 1,15	~ 42
1,15 - 1,30	~ 14
1,30 - 1,45	~ 11
1,45 - 1,60	~ 9
1,60 - 1,75	~ 11
1,75 - 1,90	~ 6,6
1,90 - 2,05	~ 6,5

Как видно из приведенных в таблице значений, наиболее вероятным процессом является деление на два осколка, примерно равных пробегов, таким образом в случае деления ядер, расположенных в средине периодической системы, также, как и в случае деления тяжелых ядер на быстрых протонах, симметричное деление является наиболее вероятным процессом.

В дальнейшем, мы попытались получить, примерное распределение осколков деления по заряду, предполагая, что связь между отноше-

-4-

ем пробегов осколков и отношением зарядов выражается следующей зависимостью:

$$\frac{l_1}{l_T} \approx \left( \frac{z_T}{z_1} \right)^{\frac{2}{3}}. \quad (1)$$

Соотношение (1) может быть получено из следующих соотношений:

1) Согласно формуле Бора (2), отношение пробегов осколка и  $\alpha$ -частицы для одинаковых скоростей  $V_\alpha = V_\varphi$  дается зависимостью вида

$$\frac{R_\varphi}{R_\alpha} \approx \gamma \left( \frac{e^2}{\hbar v} \right)^2 \frac{A_\varphi}{z_\varphi^{\frac{2}{3}}} \quad (2)$$

2) Зависимость пробега  $\alpha$ -частицы от скорости (для скорости  $V_\alpha \sim 10^9$  см/сек) дается соотношением Гейгера

$$R_\alpha = \kappa V_\alpha^3 \quad (3)$$

Т.о., если скорость  $\alpha$ -частицы равна скорости движения осколка, то пробег осколка можно представить следующим образом:

$$R_\varphi \approx \gamma \frac{p_\varphi}{z_\varphi^{\frac{2}{3}}}, \quad (4)$$

где  $\gamma = \gamma \left( \frac{e^2}{\hbar} \right)^2$ ;  $p_\varphi = V_\varphi A_\varphi$  - импульс осколка.

Поскольку в момент деления импульсы осколков деления равны  $(p_\varphi)_T = (p_\varphi)_1$ , то, решив уравнение /4/ для легкого и тяжелого осколка и взяв их отношение, мы получим соотношение /1/.

$$\frac{(R_\varphi)_1}{(R_\varphi)_T} \approx \frac{(z_\varphi)_T^{\frac{2}{3}}}{(z_\varphi)_1^{\frac{2}{3}}}.$$

Справедливость формулы (1) может быть продемонстрирована для случая деления ядер урана на медленных нейтронах, где отношение про-

-5-

бегов и отношение зарядов (для наиболее вероятного случая деления)  
 - Хорошо известно. Используя соотношение (1), мы получим следующие зависимости для заряда легкого и тяжелого осколка.

$$\tilde{\chi}_\lambda = \frac{\tilde{\chi}_f}{1 + (\frac{e_1}{e_f}) \tilde{\chi}_2}; \quad \tilde{\chi}_T = \tilde{\chi}_f - \tilde{\chi}_\lambda; \quad \tilde{\chi}_f = \tilde{\chi}_0 - n_1(H'_1) - 2n_2(H'e''_2), \quad (5)$$

где  $\tilde{\chi}_f$  - суммарный заряд легкого и тяжелого осколка деления;

$\tilde{\chi}_0$  - заряд исходного ядра ( $Ag$  или  $Bg$ );

$n_1$  - количество протонов, связанных с точкой деления;

$n_2$  - количество  $\alpha$ -частиц, связанных с точкой деления.

Дальнейший анализ осколков деления по заряду основан на том предположении, что  $\tilde{\chi}_0 = \tilde{\chi}_{Ag}$ , т.е. анализируются только случаи деления серебра.

Таким образом для получения распределения осколков деления серебра по заряду в каждом делящемся случае определялось количество протонов,  $\alpha$ -частиц, а также отношение пробегов  $e_1/e_f$  и затем, используя соотношение (1) и (5), определялись заряды  $\tilde{\chi}_\lambda$  и  $\tilde{\chi}_T$ .

Результаты данного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3

Заряд оскол- ков де- ления	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
К-во оскол- ков с данным заря- дом	0	2	1	6	8	9	9	13	13	9	8	6	3	2	0	1
Сече- ние обра- зова- ния оскол- ка с данным заря- дом	0	$1,4 \cdot 10^{-29}$	$0,7 \cdot 10^{-29}$	$4,3 \cdot 10^{-29}$	$5,7 \cdot 10^{-29}$	$6,4 \cdot 10^{-29}$	$6,4 \cdot 10^{-29}$	$9,3 \cdot 10^{-29}$	$9,3 \cdot 10^{-29}$	$6,4 \cdot 10^{-29}$	$5,7 \cdot 10^{-29}$	$4,5 \cdot 10^{-29}$	$2,1 \cdot 10^{-29}$	$1,4 \cdot 10^{-29}$	0	$0,7 \cdot 10^{-29}$

-6-

Из приведенных в таблице значений видно, что наиболее вероятным зарядом осколков деления серебра является  $\bar{z} = 19-20$ , причем сечения образования данных осколков  $\sim 0,1$  милибарна, что, как будет показано ниже, примерно на два порядка больше сечения образования многозарядной частицы с  $\bar{z}_{f_2} = 19-20$  в процессе фрагментации.

II. Выход остаточных ядер по  $\bar{z}$  от процесса фрагментации

В некоторых случаях взаимодействия быстрых нуклонов с ядрами в продуктах расщепления, помимо легких заряженных частиц ( $\alpha, p$ ), наблюдаются заряженные частицы с зарядом  $\bar{z} \geq 4$ . Ядерный процесс, в результате которого возникают данные многозарядные частицы, обычно называют фрагментацией. Процесс фрагментации на ядрах фотоэмиссии довольно подробно разобран в диссертационной работе О.В.Ложкина (3). Используя данные, приведенные в означенной работе (полное сечение образования фрагментов на ядрах  $Ag$  и  $Bg$  при энергии падающего протона  $E_p = 460$  Мэв, а также относительный выход фрагментов с определенным зарядом  $\bar{z}_{f_2}$ ), мы можем определить сечение образования различных фрагментов на ядрах серебра, опять таки в предположении, что процесс фрагментации на ядрах  $Ag$  и  $Bg$  - аналогичен.

На рис.1 (кривая II) белыми кружочками нанесены сечения образования фрагментов на ядрах  $Ag$  для зарядов  $\bar{z}_{f_2}$  от 4 до 14 и для энергий падающего протона  $E_p = 460$  Мэв. В силу линейного характера кривой II в весьма широком интервале  $\bar{z}$  ее, по-видимому, можно экстраполировать в область больших зарядов и, таким образом, оценить сечение образования фрагментов с зарядом  $\bar{z}_{f_2} = 19-20$ . Как видно из кривой, сечение образования фрагмента с зарядом  $\bar{z}_{f_2} = 20$  порядка  $2 \cdot 10^{-30} \text{ см}^2$ , т.е. в 50 раз меньше, чем сечением образования осколка деления серебра с тем же зарядом.

Выход остаточных ядер по заряду от процесса фрагментации можно получить из распределения звезд с фрагментами по числу легких заряженных частиц, сопровождающих процесс фрагментации

Действительно, если мы отберем расщепления с определенным зарядом фрагмента  $\bar{z}_{f_2} = \text{const}$ , то заряд остаточных ядер по  $\bar{z}$  от данного процесса фрагментации будет определяться числом легких заряженных частиц ( $n_{\alpha p}$ ), сопровождающих данный процесс фрагментации.

-7-

$$\chi_{\text{аг. осн.}} = \chi_{Ag} - \chi_{f_2} - \Delta \chi, \quad \Delta \chi = n_r(H'_r) + 2n_z(He^4_z).$$

Если отношение  $\alpha/\rho = \text{const}$  (в случае процесса фрагментации на ядрах  $Ag$  и  $Bz$ )  $\alpha/\rho = \text{const} = 0,5$ , то  $\Delta \chi = 1,33 n_{ap}$  и, следовательно

$$\chi_{\text{аг. осн.}} = \chi_{Ag} - \chi_{f_2} - 1,33 n_{ap}.$$

Зная сечение образования фрагмента с данным зарядом (кривая II, рис.1) и вероятность испускания определенного числа легких заряженных частиц в процессе фрагментации  $W(n_{ap})_i$ , мы можем определить сечение образования ядраостатка с определенным зарядом  $\chi_j$ .

$$\sigma_{\text{аг. осн.}}(\chi_j) = \sigma_{f_2}(\chi_{f_2}) W(n_{ap})_i.$$

2703-43

Просуммировав выходы остаточных ядер с данным зарядом  $\chi_j$  от различных процессов фрагментации ( $\chi_{f_2} = 4-20$ ) мы получим полный выход остаточных ядер по  $\chi$ . Результаты данного анализа представлены интегральной кривой III на рис.1.

### III. Выход остаточных ядер по $\chi$ в результате каскадно-испарительного процесса

Для того, чтобы получить полную картину выхода остаточных ядер по  $\chi$  при взаимодействии быстрых протонов ( $E_p = 460$  МэВ) с ядрами серебра, необходимо также учесть выход остаточных ядер в результате каскадно-испарительного процесса. Для определения данного участка кривой выхода, нами были использованы данные З.И.Остроумова (4) по взаимодействию протонов ( $E_p = 460$  МэВ) с тяжелыми ядрами фотозмульсии. Зная общее сечение неупругого взаимодействия быстрых протонов с ядрами серебра  $\sigma \approx 10^{-24} \text{ см}^2$  и относительный выход звезд с определенным числом лучей  $W(n_{ap})_i$ , мы можем определить выход остаточных ядер по  $\chi$  из следующего соотношения:

$$\sigma_{\text{аг. осн.}}(\chi_j) = \sigma W(n_{ap})_i$$

$$\chi_j = \chi_{Ag} - \Delta \chi \quad \Delta \chi = n_r(H'_r) + 2n_z(He^4_z).$$

В результате произведенного анализа по определению выхода остаточных ядер по  $\chi$  от каскадно-испарительного процесса, нами были получены значения, приведенные на рис. 1 (кривая 1У). Просуммировав все результаты по выходу ядер с определенным  $\chi$ , мы получим интегральный выход остаточных ядер по  $\chi$  от всех трех процессов: каскадно-испарительного, фрагментации и деления. Общая кривая выхода остаточных ядер по  $\chi$  представлена на рис.2.

### Обсуждение результатов

Анализируя общую кривую выхода различных ядер по  $\chi$ , возникших в результате взаимодействия быстрых протонов с ядрами серебра (рис.1 и 2) целесообразно разбить ее на четыре участка.

1) Область  $\chi \geq 32$ . В данной области остаточные ядра образуются, главным образом, как ядра-остатки от каскадно-испарительного процесса, не связанного ни с фрагментацией, ни с делением.

2) область  $25 \leq \chi \leq 32$ . Выход остаточных ядер в данной области  $\chi$  обусловлен, главным образом, процессом фрагментации.

3) область  $15 \leq \chi \leq 25$ . В данной области  $\chi$  ядра образуется преимущественно в процессе деления.

4) область  $4 \leq \chi \leq 15$ . Данная область  $\chi$  является областью многозарядных ионов, образующихся преимущественно как легкие фрагменты в процессе фрагментации.

Указанные границы областей несомненно являются условными, т.к. все области частично перекрываются.

Если сравнить кривую выхода, полученную в нашей работе при помощи метода фотосэммульсий, с кривой выхода, полученной радиометрическим методом (1) - кривая II рис. 2 - , то можно заметить, что общий ход кривой в области  $\chi \geq 26$  совпадает с ходом нашей кривой. Численные значения выходов в этой области отличаются от наших не более чем в 2-2,5 раза. Причем, если нормировать кривые по точке наибольшего выхода (черные кружочки на рис.2) ,то согласие результатов в указанной области выявляется более очевидно.

Для серебра, облученного протонами с энергией  $E_p = 480$  Мэв, радиохимические исследования дают после суммирования всех выходов полное сечение неупругого взаимодействия  $\sigma = 0,43 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ , в

то время как непосредственные измерения сечений (5) неупругого взаимодействия протонов ( $E_p = 660$  Мэв) с ядрами в области серебра ( $Sn$ ) дают значения  $\sigma \sim 1,2 \cdot 10^{-24}$  см<sup>2</sup>. Таким образом, общая кривая выхода, полученная радиохимическим методом в области  $\chi > 26$ , по-видимому, весьма хорошо отражает ход сечений, но дает заниженные значения выходов.

В области  $\chi \leq 15$  данные, полученные нами, принципиально отличаются от данных, полученных радиохимическим методом (1). В этой области  $\chi$  радиохимические данные, по-видимому, не отражают действительной картины. Область выходов остаточных ядер в интервале  $25 \leq \chi \leq 32$  несомненно измерена радиохимически более надежно, чем область  $\chi \leq 15$ . Поскольку выходы остаточных ядер в данной области  $\chi$  ( $25 \leq \chi \leq 32$ ) получены нами расчетным путем, исходя из экспериментально определенных выходов (3) многозарядных ионов ( $4 \leq \chi \leq 15$ ), а согласие наших данных с радиохимическими в области  $25 \leq \chi \leq 32$  вполне хорошее, то, по-видимому, приведенные нами данные по выходу многозарядных ионов  $4 \leq \chi \leq 15$  столь же надежны, сколь надежны данные, полученные радиохимическим методом в области  $25 \leq \chi \leq 32$ .

В области осколков деления  $15 \leq \chi \leq 25$  наши данные также отличны от данных, полученных радиохимическим методом. Данная разница заключается в том, что согласно наших данных кривая выхода в этой области проходит через максимум, указывающий на симметричное деление серебра, в то время как кривая выхода, полученная радиохимическим методом, указывает на преимущественно асимметричный способ деления. Однако статистический материал, на котором получены наши данные, пока недостаточен, вследствие чего приведенные в работе численные значения следует рассматривать как предварительные, нуждающиеся в дальнейшем уточнении.

В заключение автор считает своим приятным долгом поблагодарить профессора Перфилова Н.А. за ряд ценных указаний, высказанных при обсуждении результатов настоящей работы. Автор также весьма признателен О.В.Ложкину, В.И. Остроумову и В.Я.Даровских, любезно предоставивших автору ряд ценных данных, без которых невозможно было бы выполнение настоящей работы.

#### Список литературы

1. Курчатов Б.В., Межедов В.Н. и др. Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии, 1955 г.

2703-43

-10-

2. N.Bohr.Kgl.Dauske Videuskab.Selskab,Mat.fys.Med,18,8,(1948)
3. Ложкин О.В. Кандидатская диссертация. Радиевый институт, 1957 г.
4. Остроумов В.И.-ЖЭТФ ,том 32, вып.1, 1957 г.
5. Москалев В.И., Гавриловский Б.В. -ДАН, 110, 972 (1956)

2703-43

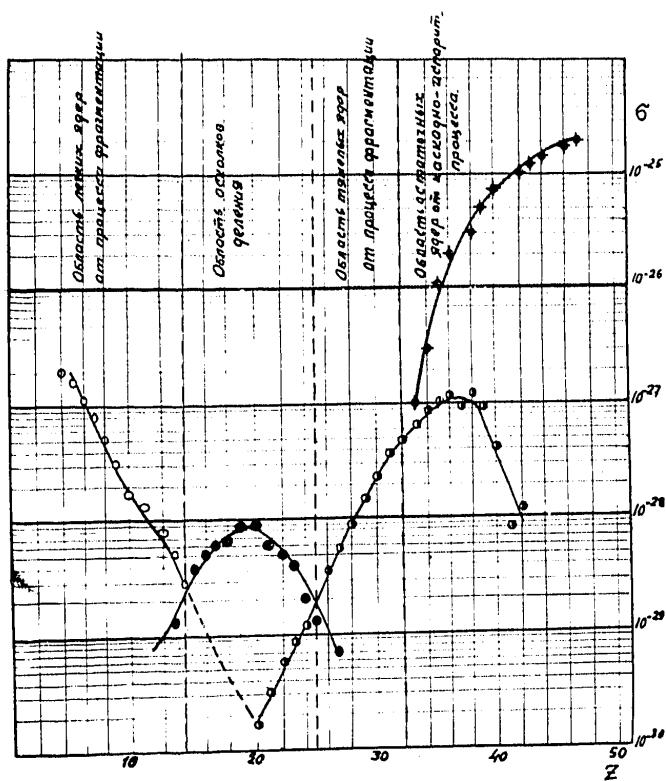


Рис. I. Сечение образования: а) легких фрагментов, б) ядер-остатков от процесса фрагментации, в) осколков деления, г) остаточных ядер от каскадно-испарительного процесса, возникающих в результате взаимодействия протонов с энергией  $E_p=460\text{МэВ}$  с ядрами серебра

- - сечение образования многозарядных ионов (легких фрагментов)
- - сечение образования осколков деления
- - сечение образования остаточных ядер от процесса фрагментации
- ◆◆◆ - сечение образования остаточных ядер от каскадно-испарительного процесса

- 12 -

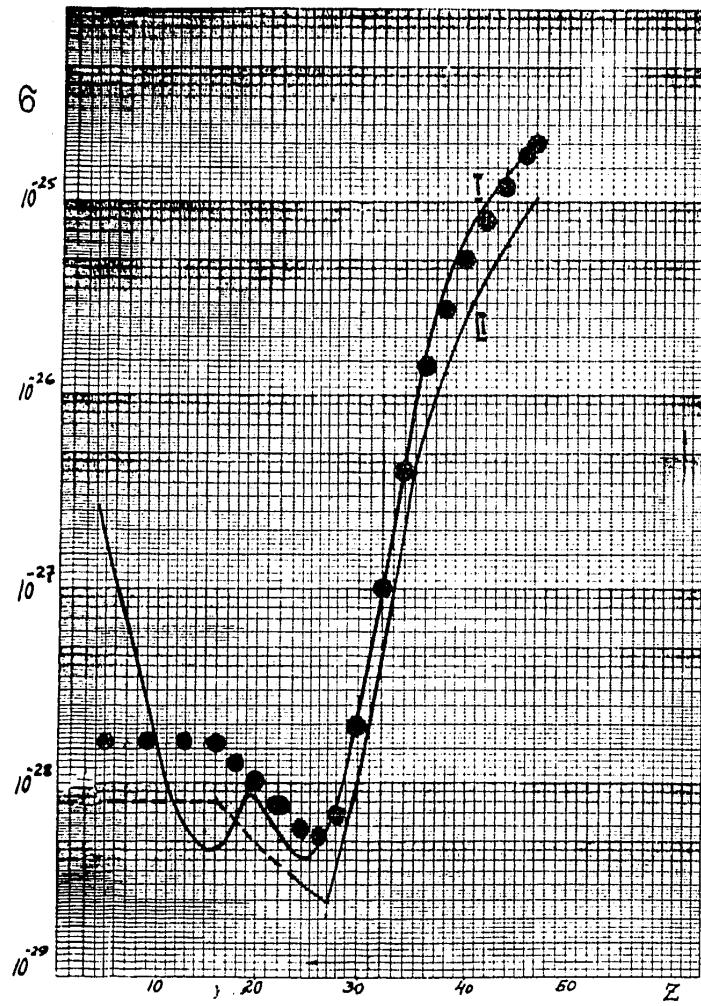


Рис.2.- полная кривая выхода различных элементов, возникших в результате расщепления ядер серебра протонами с энергией  $E_p=460$  МэВ  
 I - кривая, полученная в настоящей работе  
 II - кривая, полученная радиохимическим методом (1)  
 ●●● - значение, полученное радиохимическим методом, нормированы с нашей кривой по точке наибольшего выхода

ЗОК. 2703